

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
H01S 3/098



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02141056.9

[43] 公开日 2003 年 2 月 19 日

[11] 公开号 CN 1398029A

[22] 申请日 2002.7.12 [21] 申请号 02141056.9
[30] 优先权
[32] 2001. 7.12 [33] JP [31] 211682/2001
[71] 申请人 日本电气株式会社
地址 日本东京都
[72] 发明人 横山弘之

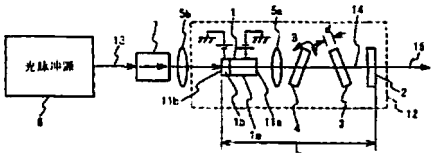
[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司
代理人 王 玮

权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称 利用锁模激光器产生具有高重复率的光脉冲串

[57] 摘要

一种光脉冲串发生器是由第一和第二光谐振器(3、12)以及一个光脉冲发生器(6)构成的。第一光谐振器(12)中具有第一光路长度的第一光路。第二光谐振器(3)插入到第一光路中。第二光谐振器(3)中具有一个实际上等于第二光路长度的1/m的第二光路长度的第二光路，m是一个自然数。光脉冲发生器(6)向第一光谐振器(12)提供包括对应于第一光路长度调谐的第一重复率的分量的第一光脉冲串(13)。第一光脉冲串(13)的提供使得能够在第一光谐振器(12)中产生一个第二光脉冲串(14)。第一光谐振器(12)提取第二光脉冲串(14)的一部分，以输出一个输出光脉冲串(15)。



ISSN 1008-4274

1. 一个光脉冲串发生器，包括：

5 其中具有一个第一光路长度的第一光路的第一光谐振器；

插入到所述第一光路中的第二光谐振器，其中所述第二光谐振器中具有一个实际上等于所述第二光路长度的 $1/m$ 的第二光路长度的第二光路， m 是一个自然数；

10 向所述第一光谐振器提供包括一个对应于所述第一光路长度调谐的第一重复率的分量的第一光脉冲串的光脉冲串发生器，

其中所述第一光脉冲串的提供使得能够在所述第一光谐振器中产生第二光脉冲串，其中所述第一光谐振器提取所述第一光脉冲串的一部分，以输出一个输出光脉冲串。

2. 根据权利要求 1 所述的光脉冲串发生器，其特征在于进一步包括：

15 一个插入到所述第一光谐振器的所述第一光路中的激光器增益元件，其中所述激光器增益元件接收所述第一光脉冲串，以便与所述第一光脉冲串同步地放大所述第二光脉冲串。

3. 根据权利要求 2 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述激光器增益元件是一个锁模半导体激光器，包括：

20 接收所述第一光脉冲串的可饱和吸收器区，和

耦合到所述可饱和吸收器区以放大所述第二光脉冲串的增益区。

4. 根据权利要求 3 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述锁模半导体激光器具有一个在所述可饱和吸收器区上的反射表面，和

其中所述第一光谐振器包括一个反射镜，和

25 其中所述第一光路通过所述增益区和所述第二光谐振器形成在所述反射表面和所述反射镜之间。

5. 根据权利要求 4 所述的光脉冲串发生器，其特征在于可移动地设计所述反射镜，以便能够调节所述第一光路长度。

30 6. 根据权利要求 2 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第一光谐振器是由具有一对其间形成了所述第一光路的反射表面的法布里-珀罗

谐振器形成的。

7.根据权利要求 6 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第一光脉冲串的所述第一重复率是 f/n ， n 是一个自然数， f 是一个由下式定义的圆周频率：

$$f = c/2L,$$

其中 c 是真空中光速， L 是所述反射表面对之间的所述第一光路的所述第一光路长度，和

其中所述第二光脉冲串的所述第二重复率是所述圆周频率的 m 倍。

8.根据权利要求 6 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第二光谐振器是由包括一对其间形成了所述第二光路的光学平板的法布里-珀罗校准器形成的。

9.根据权利要求 8 所述的光脉冲串发生器，其特征在于将所述法布里-珀罗谐振器和所述法布里-珀罗校准器设计为在所述法布里-珀罗谐振器与所述法布里-珀罗校准器之间不形成一个谐振器。

10.根据权利要求 9 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述光学平板对倾斜于形成在所述法布里-珀罗谐振器的所述反射镜对之间的所述第一光路。

11.根据权利要求 1 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第一光谐振器是由将所述第一光谐振器的第一光路形成一个环路而形成的环形谐振器构成的。

12.根据权利要求 11 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第一光脉冲串的所述第一重复率是 f/n ， n 是一个自然数， f 是一个由下式定义的圆周频率：

$$f = c/L,$$

其中 c 是真空中光速， L 是所述环状第一光路的所述第一光路长度，和

其中所述第二光脉冲串的所述第二重复率是所述圆周频率的 m 倍。

13.根据权利要求 11 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第一光谐振器包括一个光纤，以形成所述环形谐振器。

14.根据权利要求 11 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第二

光谐振器是由一个法布里-珀罗校准器形成的。

15.根据权利要求 11 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第二光谐振器是由将所述第二光谐振器的所述第二光路形成一个环路而形成的另一个环形谐振器构成的。

5 16.根据权利要求 15 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第二光谐振器包括另一个光纤，以形成所述另一个环形谐振器。

17.根据权利要求 16 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第一光谐振器的所述第一光路长度是可以调节的。

10 18.根据权利要求 16 所述的光脉冲串发生器，其特征在于所述第二光谐振器的所述第二光路长度是可以调节的。

利用锁模激光器产生具有高重复率的光脉冲串

5

技术领域

本发明涉及光脉冲串的产生，更具体地讲，涉及一种产生具有高重复率的光脉冲串的装置和方法。

10 背景技术

光学电信系统和光学计算机通常需要具有高重复率的光脉冲串。

已经认识到已调制锁模半导体激光器是一种具有高重复率的光脉冲串源。美国专利 No. 6,031,851 中公开了一种已调制锁模半导体激光器，在此将该专利整体引入作为参考。图 1 是常用已调制锁模半导体激光器的示意图。该常规已调制锁模半导体激光器由一个基底 55，一个激活区 56，和电极 57-59 构成。基底 55 和激活区 56 被划分成分布的布拉格反射器区（DBR 区）51，电子吸收调制器区 52，增益区 53，和可饱和吸收器区 54。

如下所述，光脉冲串的产生是利用常规已调制锁模半导体激光器完成的。通过电极 57 向可饱和吸收器区 54 提供反向偏置电压。通过电极 58 向增益区 53 提供直流电流。通过电极 59 向电子吸收调制器区 52 提供调制偏压，调制偏压是由反向直流偏压和一个正弦电压叠加产生的。调制偏压致使发射出光脉冲串。常规已调制锁模半导体激光器可以产生具有在 30 至 40GHz 范围的重复率的光脉冲串。

25 也可以利用阵列波导管衍射光栅（AWG）或法布里-珀罗校准器（Fabry-Perot etalon）完成光脉冲串的产生。图 2 示出了用于产生光脉冲串的 AWG 装置 71。AWG 装置 71 由一个输入波导管 61，一个光学多路分解器 62，多个波导管 63，一个光学多路复用器 64，和一个输出波导管 65 构成。多个波导管 63 的光路长度彼此不同。如图 3A 中所示，向输入波导管 61 提供了光脉冲串 Pin。如图 2 中所示，光学多路分解器 62

多路分解光脉冲串 Pin，以产生多个光脉冲串。将产生的光脉冲串分别提供给波导管 63，以使其延迟。波导管 63 的不同光路长度致使光脉冲串被延迟不同的延迟时间。多路复用器 64 多路复用延迟的光脉冲串，以产生输出光脉冲串 Pout。输出光脉冲串 Pout 具有的重复率是输入光脉冲串 Pin 的重复率的 m 倍，m 是波导管 63 的数量。

在日本公开专利申请 (JP-A 平 8-148749) 中，Yokoyama 等人披露了另一种产生光脉冲串的技术。这种光脉冲串产生技术使用了两个半导体激光器，其中一个已调制锁模半导体激光器，另一个是无源锁模半导体激光器。已调制锁模半导体激光器产生一个光脉冲串，以激励无源锁模半导体激光器。无源锁模半导体激光器产生与来自自己调制锁模半导体激光器的光脉冲串同步的输出光脉冲串。通过光激励获得的同步提高了输出光脉冲串的重复率的稳定性。

光信号处理的最近发展要求能够产生具有高于 50GHz，最好是高于 80GHz 的重复率的光脉冲串，而且要求能够精确地控制重复率。因而，希望有一种能够产生具有精确控制的高重复率的光脉冲串的技术。

发明内容

因此，本发明的一个目的是提供一种产生具有高重复率的光脉冲串的光脉冲串发生器。本发明的另一个目的是提供一种精确地控制产生的光脉冲串的重复率的光脉冲串发生器。

一种光脉冲串发生器包括第一和第二光谐振器，和一个光脉冲串发生器。第一光谐振器中具有一个第一光路长度的第一光路。第二光谐振器插入到第一光路中。第二光谐振器中具有一个实际等于第二光路长度的 1/m 的第二光路长度的第二光路，m 是一个自然数。光脉冲串发生器向第一光谐振器提供包括对应于第一光路长度调谐的第一重复率分量的第一光脉冲串。第一光脉冲串的提供使得能够在第一光谐振器中产生第二光脉冲串。第一光谐振器提取第二光脉冲串的一部分，以输出一个输出光脉冲串。

当光脉冲串发生器进一步包括一个插入到第一光谐振器的第一光路

中的激光器增益元件时，激光器增益元件最好接收第一光脉冲串，以便与第一光脉冲串同步地放大第二光脉冲串。

激光器增益元件最好是一个包括接收第一光脉冲串的可饱和吸收器区，和一个耦合到可饱和吸收器区以放大第二光脉冲串的增益区的锁模
5 半导体激光器。

锁模半导体激光器最好在可饱和吸收器区上具有一个反射表面，并且第一光谐振器包括一个反射镜，通过增益区和第二光谐振器将第一光路形成在反射表面和反射镜之间。

反射镜优选可以移动，以便能够调节第一光路长度。

10 第一光谐振器可以由具有一对反射表面的法布里-珀罗谐振器构成，第一光路形成在这对反射表面之间。

在这种情况下，第一光脉冲串的第一重复率优选是 f/n ， n 是一个自然数， f 是一个由下式定义的圆周频率：

$$f=c/2L$$

15 其中 c 是真空中光速， L 是反射表面对之间的第一光路的第一光路长度。这致使第二光脉冲串的第二重复率成为圆周频率 f 的 m 倍。

第二光谐振器可以由包括一对光学平板的法布里-珀罗校准器构成，第二光路形成在光学平板对之间。

在这种情况下，法布里-珀罗谐振器和法布里-珀罗校准器优选设计
20 成不在法布里-珀罗谐振器与法布里-珀罗校准器之间形成一个谐振器。这是优选通过使光学平板对与形成在法布里-珀罗谐振器的反射镜对之间的第一光路倾斜一定的角度取得的。

第一光谐振器可以由一个环形谐振器构成，这个环形谐振器是将第一光谐振器的第一光路形成一个环路而构成的。

25 在这种情况下，第一光脉冲串的第一重复率优选是 f/n ， n 是一个自然数，而 f 是一个由下式定义的圆周频率：

$$f=c/L,$$

其中 c 是真空中光速， L 是环状第一光路的第一光路长度。这致使第二光脉冲串的第二重复率成为圆周频率 f 的 m 倍。

30 第一光谐振器可以包括一个光纤，以形成环形谐振器。

当第一光谐振器由一个环形谐振器构成时，第二光谐振器可以由另一个环形谐振器构成，这个环形谐振器是将第二光谐振器的第二光路形

5 成一个环路而构成的。

第一和第二光谱振器的第一和第二光路长度最好是可调节的。

10 图 1 是表示常规已调制锁模半导体激光器的剖视图:

图 3 表示了输入到常规 AWG 装置的输入光脉冲串 P_{in} , 和从常规 AWG 装置输出的输出光脉冲串 P_{out} :

15 图5是表示第二实施例的光脉冲发生器的示意图:

图 6B 是表示第二实施例的另一个改进光脉冲发生器的示意图:

图 7B 是表示第三实施例的一个改进光脉冲串发生器的示意图。

以下参考附图详细说明根据本发明的光脉冲串发生器。

第一实施例的光脉冲串发生器是由光脉冲源 6 和锁模激光器 12 构成的。光脉冲源 6 通过光隔离器 7 和准直透镜 5b 向锁模激光器 12 提供调制光脉冲串 13。光隔离器 7 防止了来自锁模激光器 12 的不希望的反馈。应当指出，可以通过光纤（未示出）发送调制光脉冲串 13。光脉冲源 6 可以是一个无源锁模半导体激光器，一个 DFB 半导体激光器，和一个已调制锁模半导体激光器。在本实施例中，使用了图 1 中示出的已调制锁

模半导体激光器作为光脉冲源 6。已调制锁模半导体激光器由于其较短的谐振器长度，使得它的模式间隔能够与时钟频率相同。这使得能够减小调制光脉冲串 13 的抖动。

5 锁模激光器 12 是由半导体激光器 1，半透明反射镜 2，法布里-珀罗校准器 3，波长选择器 4，和准直透镜 5 构成的。法布里-珀罗校准器 3，波长选择器 4 和准直透镜 5 串联地布置在半导体激光器 1 和半透明反射镜 2 之间。

半导体激光器 1 在与半透镜反射镜 2 相对的一侧具有一个反射端面 11a。反射端面 11a 和半透明反射镜 2 起到了法布里-珀罗谐振器的作用。
10 此后，将法布里-珀罗谐振器称为主谐振器。反射端面 11a 涂覆有层状结构的介电膜，以将其反射率提高到大约 0.8。层状结构介电膜可以由 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 层或 Si/SiO_2 层形成。

半导体激光器 1 的相反端面 11b 涂覆一层抗反射涂层。抗反射涂层可以包括层状结构的介电膜，例如， $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 层或 Si/SiO_2 层的介电膜。
15 端面 11b 的反射率被降低到 10^{-4} 以下。端面 11b 的低反射率防止了在端面 11b 与半透明反射镜 2 之间形成一个谐振器。

半导体激光器 1 包括一个在端面 11b 上的增益区 1a，和一个在端面 11a 上的可饱和吸收器区 1b。增益区 1a 和可饱和吸收器区 1b 分别设置有电源电极。

20 给作为一个光学放大器的增益区 1a 提供直流电流，以便在端面 11b 与半透明反射镜 2 之间形成的主谐振器内产生谐振的光脉冲串 14。可饱和吸收器区 1b 接收来自光脉冲源 6 的光脉冲串 13，以使谐振的光脉冲串 14 与光脉冲串 13 同步。

半透明反射镜 2 透过一部分谐振的光脉冲串 14，以输出一个输出光脉冲串 15。如图 4 中箭头 A 所指示的，半透明反射镜 2 可以沿主谐振器的光路移动。可移动半透明反射镜 2 使得能够把主谐振器的光路长度 L 调节到希望的长度。应当指出，主谐振器的光路长度 L 意味着半导体激光器 1 的反射端面 11b 与半透明反射镜 2 的半反射表面之间的光路长度。可移动半透明反射镜 2 使得能够精确地调节输出光脉冲串 15 的重复率。

30 法布里-珀罗校准器 3 起到一个插入到主谐振器的光路中的子谐振器

的作用。法布里-珀罗校准器 3 是由一对平行的半反射表面构成的。具体地讲，法布里-珀罗校准器 3 包括一个由石英、光学玻璃之类的材料形成的光学平板，和一对形成在光学平板两侧的半反射层。半反射层可以由层状结构的介电层或薄金属膜形成的。法布里-珀罗校准器 3 被设计成具有由下式定义的平行半反射表面之间的光路长度 d ：

$$d=L/m,$$

其中 L 是主谐振器的光路长度， m 是一个等于或大于 2 的整数。使谐振的光脉冲串 14 的传输系数最大的重复率具有 $c/2d$ 的间隔 Δf ，其中 c 是真空中光速。

将法布里-珀罗校准器 3 布置为稍微倾斜于主谐振器的光路。法布里-珀罗校准器 3 的倾斜布置防止了在半透明反射镜 2 与法布里-珀罗校准器 3 之间，和法布里-珀罗校准器 3 与半导体激光器 1 的端面 11b 之间形成谐振器。

法布里-珀罗校准器 3 可以包括一对半透明的平行反射镜，和一个由插入在半透明平行反射镜之间的压电材料或电光材料制造的光学介质。使用压电或电光光学介质使得能够响应施加到光学介质的电压来调节半透明平行反射镜之间的光路长度 d 。

波长选择器 4 确定谐振的光脉冲串 14 的波长，从而确定了输出光脉冲串 15 的波长。波长选择器 4 可以是一个分散棱镜，衍射光栅，或由层状结构的介电层构成的波长选择滤波器。可以通过调节波长选择器 4 与主谐振器的光路之间的角度，把输出光脉冲串 15 的波长设置到希望的波长。波长选择器 4 使输出的光脉冲串 15 的波长与同步光脉冲 13 的波长不同。如果不需要精确地控制输出光脉冲串 15 的波长，那么可以省略波长选择器 4。但是，实际中最好使用波长选择器 4。

第一实施例的光脉冲串发生器可以产生重复率是输出光脉冲串 13 的重复率的 m 倍的调制光脉冲串 15。输出光脉冲串 15 的产生机理如下。

作为图 1 中所示的已调制锁模半导体激光器的光脉冲源 6 产生调制光脉冲串 13。对应于主谐振器的光路长度调谐调制的光脉冲串 13 的重复率。具体地讲，调制的光脉冲串 13 具有 f/n 的基本重复率， f 是一个由下式确定的圆周频率：

$$f=c/2L,$$

n 是一个自然数, c 是真空中光速, L 是主谐振器的光路长度。调制的光脉冲串 13 的产生是通过利用一个标准信号发生器(未示出)向已调制锁模半导体激光器提供一个 f/n 频率的正弦电压取得的。正弦电压致使光脉冲源 6 产生具有 f/n 的基本重复率的调制光脉冲串 13。调制光脉冲串 13 也包括具有 $2f/n$, $3f/n$, ..., f , ... 的重复率的谐波分量。将产生的调制光脉冲串 13 通过端面 11b 输入到半导体激光器 1。

向半导体激光器 1 的增益区 1a 提供一个直流电流, 并且向可饱和吸收器区 1b 提供一个反向的偏压。直流电流和反向偏压的提供致使半导体激光器 1 通过无源锁模在主谐振器中产生谐振光脉冲串 14。

起到具有 $d (=L/m)$ 的光路长度的子谐振器作用的法布里-珀罗校准器 3 将谐振的光脉冲串 14 的谐振模限制到满足由法布里-珀罗校准器 3 的布置确定的谐振条件的谐振模。法布里-珀罗校准器 3 致使谐振的光脉冲串 14 具有主谐振器的圆周频率的 m 倍的高重复率。

半导体激光器 1 通过可饱和吸收器区 1b 接收调制光脉冲串 13, 以便与调制光脉冲串 13 同步地调制谐振的光脉冲串 14。调制光脉冲串 13 及其谐波分量的基本重复率 f/n 使得能够将谐振的光脉冲串 14 的重复率精确地控制到 m 倍的圆周频率 f 。半透明反射镜 2 部分地透过谐振的光脉冲串 14, 以产生输出光脉冲串 15。因此, 锁模激光器 12 可以在稳定和精确地控制重复率的同时, 产生具有高重复率的与调制光脉冲串 13 同步的输出光脉冲串 15。

法布里-珀罗校准器 3 可以通过它的不希望的反射和辐射造成谐振的光脉冲串 14 的损耗。但是, 用作一个设置在主谐振器内部的激光器增益元件的半导体激光器 1 来补偿损耗, 因而, 损耗并不对输出光脉冲串 15 的产生造成严重问题。

此外, 半导体激光器 1 的补偿能够减小噪声, 和减小输出脉冲串 15 的脉宽。半导体激光器 1 的增益区 1a 放大和再生谐振的光脉冲串 14。可饱和吸收器区 1b 吸收自身发射的光, 以从谐振的光脉冲串 14 除去背景噪声。可饱和吸收器区 1b 也减小谐振的光脉冲串 14 的脉宽。因此, 减小了输出光脉冲串 15 的噪声, 和缩小了输出光脉冲串 15 的脉宽。

必须知道可以在细节上改进第一实施例的光脉冲串发生器。例如，可以把波长选择器 4 结合到光脉冲串发生器的另一个组件中。例如，可以将一个用作波长选择器 4 的扩散布拉格反射器单片集成在半导体激光器 1 中，以便使扩散布拉格反射器与增益区 1a 邻接。也可以用一个起到
5 波长选择器以及主谐振器的反射镜作用的衍射光栅代替半透明反射镜 2。

可以用光纤，用其它固体光学材料制造的波导管或透明介质完成半导体激光器 1 与半透明反射镜 2 之间的谐振的光脉冲串 14 的传输。使用光纤传输谐振的光脉冲串 14 可以伴随如下所述的一种光脉冲串发生器的改进。用一个形成在半导体激光器 1 的相对一侧的光纤端部的半反射膜
10 代替半透明反射镜 2。将半反射膜用作主谐振器的一个反射器。将法布里-珀罗校准器 3、波长选择器 4 和准直透镜设置在光纤和半导体激光器 1 之间。最好倾斜地切断光纤的另一端，以避免形成一个不希望的谐振器。

使用半导体波导管传输谐振的光脉冲串 14 可以伴随着在一个半导体
15 基底上的光脉冲串发生器的单片集成。

使用诸如石英和铌酸锂之类的光学材料制造的波导管，可以伴随着诸如光脉冲源 6、半导体激光器 1、法布里-珀罗校准器 3 和波长选择器 4 之类的光脉冲串发生器的所有组件结合在一个硅平台上，形成一个模块结构。

20

第二实施例

图 5 示出了第二实施例的光脉冲串发生器。

第二实施例的光脉冲串发生器是由一个光脉冲源 6 和一个锁模激光器 16 构成的。光脉冲源 6 是由图 1 中所示的已调制锁模半导体激光器形成的。光脉冲源 6 通过一个光隔离器 7 给锁模激光器 16 提供调制光脉冲
25 串 13。

锁模激光器 16 包括反射镜 2a, 2b, 和 2c, 以及一个半透明反射镜 2d, 以便在其中形成一个环状的光路。就是说, 反射镜 2a, 2b 和 2c, 以及半透明反射镜 2d 形成了一个环形谐振器。将环形谐振器用作锁模激光器 16
30 中的一个主谐振器。环形谐振器的环状光路具有光路长度 L 。反射镜 2b

和 2c 可以在图 5 中箭头 A 所示的方向上移动。可移动的反射镜 2b 和 2c 使得光路长度 L 可以调节。

准直透镜 5b、半导体激光器 1 和准直透镜 5a 串联地插入到反射镜 2a 和 2b 之间。包括一个可饱和吸收器区 1b 和一个增益区 1a 的半导体激光器 1 除了在其两端分别涂覆有抗反射涂层之外，几乎与第一实施例中所
5 所述的相同。抗反射涂层防止了在半导体激光器 1 的两端之间形成一个谐振器。

在反射镜 2c 和半透明反射镜 2d 之间串联地插入一个光隔离器 7 和一个法布里-珀罗校准器 3。光隔离器 7 防止了光信号在环形谐振器中逆
10 时针方向的传输。

法布里-珀罗校准器 3 用作插入在主谐振器（环形谐振器）中的一个子谐振器。法布里-珀罗校准器 3 具有与第一实施例中所示的相同结构。法布里-珀罗校准器 3 具有一对半反射表面，在两个半反射表面之间具有 d 的光路长度。光路长度 d 是由下式确定的：

15
$$d = L/m,$$

其中 L 是环形谐振器的环状光路的光路长度，m 是一个自然数。

下面说明利用第二实施例的光脉冲发生器产生输出光脉冲串 15。

光脉冲源 6 产生调制光脉冲串 13，以便使调制光脉冲串 13 具有 f/n 的基本重复频率，f 是一个由下式定义的主谐振器（环形谐振器）的圆周
20 频率：

$$f = c/L,$$

其中 c 是真空中光速，n 是一个自然数。调制光脉冲串 13 也包括具有 $2f/n$, $3f/n$, ..., f , ... 的重复率的谐波。通过半透明反射镜 2d、反射镜 2a 和准直透镜 5b 将调制光脉冲串 13 输入到半导体激光器 1 中。

25 半导体激光器 1 通过无源锁模在环形谐振器中产生一个谐振的脉冲串 14。谐振的脉冲串 14 在环形谐振器中顺时针循环，以取得谐振。由法布里-珀罗校准器 3 的结构确定谐振的模，以造成谐振的脉冲串 14 具有圆周频率 f 的 m 倍的重复率。

根据调制光脉冲串 13 调制半导体激光器 1，调制光脉冲串 13 具有 f/n
30 的基本重复率，并且包括其谐波。这导致谐振的光脉冲串 14 与调制光脉

冲串 13 同步, 并且也把谐振的光脉冲串 14 的重复率稳定到 $m \times f$ 。

半透明反射镜 2d 部分地透过谐振的光脉冲串 14, 以产生输出的光脉冲串 15。

必须懂得, 可以在细节上改进第二实施例的光脉冲串发生器。例如,
5 可以省略光隔离器 7。光隔离器 7 的省略导致光脉冲串顺时针和逆时针两个方向的传送。在这种改进中, 半导体激光器 1 最好包括两个增益区 1a, 并且把可饱和吸收器区 1b 设置在两个增益区 1a 之间。

此外, 可以用一个半透明反射镜代替反射镜 2a, 2b 和 2c 中的一个,
10 并且通过半透明反射镜完成调制光脉冲串 13 的输入, 或输出光脉冲串 15 的输出。

此外, 如图 6A 和 6B 中所示, 可以把一个环形谐振器用作子谐振器, 取代法布里-珀罗校准器 3。图 6A 中所示的改进光脉冲串发生器包括半透明反射镜 18a, 18b, 18e, 和反射镜 18c, 18d, 18f, 18g。半透明反射镜 18a, 18b 和反射镜 18c, 18d 形成了一个主谐振器, 而半透明反射镜 18b, 18e 和反射镜 18f, 18g 形成了一个子谐振器。图 6B 中示出的另一种改进的光脉冲串发生器包括半透明反射镜 19a, 19b, 19e 和 19f, 以及反射镜 19c 和 19d。半透明反射镜 19a, 19b 和反射镜 19c 和 19d 形成了一个主环形谐振器, 而半透明反射镜 19a, 19e, 和 19f, 以及反射镜 19d 形成了一个子谐振器。

20

第三实施例

图 7A 示出了第三实施例的一个光脉冲串发生器。在第三实施例中, 将由一个光纤 10a 构成的环形谐振器用作主谐振器, 并且将由一个环状光纤 10b 构成的环形谐振器用作子谐振器。

25 光纤 10a 构成的主谐振器和环状光纤 10b 构成的子谐振器分别提供了环状光路。确定环状光路的光路长度以满足以下的关系:

$$d = L/m,$$

其中 L 是主谐振器的光路长度, d 是子谐振器的光路长度, m 是一个自然数。环状光纤 10b 通过一个光耦合器 8b 耦合到光纤 10a。

30 将光耦合器 8a 插入到光纤 10a 中, 通过它把调制光脉冲串 13 从光

脉冲发生器 6 输入到主谐振器。光脉冲发生器 6 以与第一和第二实施例中所述的相同方式操作。

把半导体激光器 1 插入到主谐振器的环状光路中。半导体激光器 1 包括两个增益区 1a, 和一个设置在两个增益区 1a 之间的可饱和吸收器区 1b。

半导体激光器 1 通过无源锁模产生光脉冲串 30a 和 30b, 将光脉冲串 30a 顺时针方向传输, 并且逆时针方向传输光脉冲串 30b。最好是从反向传输光脉冲串 30a 和 30b 的观点提供两个增益区 1a。利用调制光脉冲串 13 调制半导体激光器 1, 以使光脉冲串 30a 和 30b 与调制光脉冲串 13 同步。半导体激光器 1 的两端分别涂覆了抗反射涂层, 以防止形成不希望的谐振器。

使光脉冲串 30a 和 30b 在主和子谐振器中谐振, 同时用子谐振器的光路长度 d 确定谐振条件。光脉冲串 30a 和 30b 所具有的重复率是 f 的 m 倍, 其中 f 是用下式确定的圆周频率:

$$f = c/L,$$

c 是真空中光速。

将一个波长选择器 4 插入到光纤 10a 中, 以固定光脉冲串 30a 和 30b 的波长。波长选择器 4 可以是一个由层状结构的介电层构成的散射棱镜, 衍射光栅或波长选择滤光器。可以用一个与光纤 10a 结合的衍射光栅纤维替代波长选择器 4。在这种情况下, 最好把一个光隔离器插入在结合的衍射光栅纤维和半导体激光器 1 之间。光隔离器的插入有效地防止了结合的衍射光栅纤维与半导体激光器 1 之间的不希望的形成。

将一个光耦合器 8c 插入到光纤 10a 中, 以把一个光纤 10c 耦合到光纤 10a。光耦合器 8c 提取光脉冲串 30a 和 30b 的一部分, 以通过光纤 30c 产生输出光脉冲串 15。输出光脉冲串 15 具有 m 倍于 f 的高重复率。

可以通过向光纤 10a 施加热或电场来调节输出光脉冲串 15 的重复率。热或电场的使用改变了光纤 10a 的折射率, 从而改变了光纤 10a 的光路长度。当把光纤 10a 紧密地缠绕在一个压电元件上时, 可以通过向压电元件施加电压获得输出光脉冲串的重复率的调节。对压电元件施加电压, 改变了光纤 10a 的长度, 这样能够调节输出光脉冲串 15 的重复率。

第三实施例的光脉冲串发生器能够产生具有高重复率的光脉冲串，同时使重复率稳定。

必须懂得，可以在细节上改进第三实施例的光脉冲串发生器。

图 7B 示出了第三实施例的一个改进的光脉冲串发生器。这个改进的光脉冲串发生器是由一个环状光纤 10b，和一个通过设置在点 A 和 C 的光耦合器（未示出）耦合到环状光纤 10b 的光纤 10 构成的。把光耦合器 8c 在点 D 插入到光纤 10。光纤 10 和 10b 形成了一个具有通过点 A，B，C 和 D 的环状光路的主谐振器，点 B 位于光纤 10b 上。环状光纤 10b 独立地形成了一个具有另一个环状光路的子谐振器。

将半导体激光器 1，波长选择器 4 和光隔离器 7 插入到光纤 10 中。半导体激光器 1，波长选择器 4 是光隔离器 7 以与第一实施例中所述的相同方式操作。

光纤 10 的 E 端通过一个光隔离器 7 和一个耦合透镜 5c 光学耦合到光脉冲发生器 6。光脉冲发生器 6 以与第一实施例中所述的相同方式，向半导体激光器 1 提供调制光脉冲串。

图 7B 中所示的改进的光脉冲发生器以与图 7A 中所示的光脉冲发生器相同的方式操作。

此外，可以由半导体波导管形成环形谐振器。在这种情况下，主谐振器是由一个由顺序叠层在一个半导体基底上的一个覆盖层、一个波导管层、和另一个覆盖层构成的环状脊形波导管形成的。锁模半导体激光器与环状脊形波导管单片地结合在半导体基底上。锁模半导体激光器带有一个 DBR（分布布拉格反射器）区，一个连接于 DBR 区的增益区，一个连接于增益区的吸收吸收器区，和连接于吸收吸收器区的另一个增益区。DBR 区发挥用于选择环形谐振器中产生的光脉冲串的波长的波长选择器的功能。子谐振器是由另一个环状半导体波导管形成的。子谐振器通过一个 Y 分支或定向光耦合器光学耦合到主谐振器。确定子谐振器的环状光路的光路长度 d，以满足下式：

$$d=L/m,$$

其中 L 是主谐振器的环状光路的光路长度，m 是一个自然数。

主谐振器带有第一和第二 Y 分支波导管。第一 Y 分支波导管用于从

一个光脉冲发生器输入调制光脉冲串。光脉冲发生器耦合到第一 Y 分支波导管的一端。光脉冲发生器包括由一个增益区和一个可饱和吸收器区构成的锁模半导体激光器。锁模半导体激光器单片地集成在半导体基底上。第二 Y 分支波导管用于提取主谐振器中循环的光脉冲串的一部分。

- 5 在这个改进中，可以把一个法布里-珀罗校准器用作子谐振器，取代环形谐振器。在这种情况下，将法布里-珀罗校准器埋置在一个横跨主谐振器的环状波导管形成的槽中。

此外，在这个改进中，用一个埋置在横跨主谐振器的环状波导管形成的槽中的波长选择器替代锁模半导体激光器的 DBR 区。

- 10 此外，在这个改进中，将一个光隔离器插入到主谐振器中，以造成产生的光脉冲串以顺时针和逆时针方向中的一个方向传输。光隔离器可以包括一个利用法拉第旋转的隔离器，或一个用半导体构成的隔离器。

- 15 尽管通过具有某种特定程度的优选形式说明了本发明，但是应当知道可以在结构的细节上，以及部件的组合和布置上改变这里说明的优选形式，而不脱离附属权利要求中定义的本发明的精神和范围。

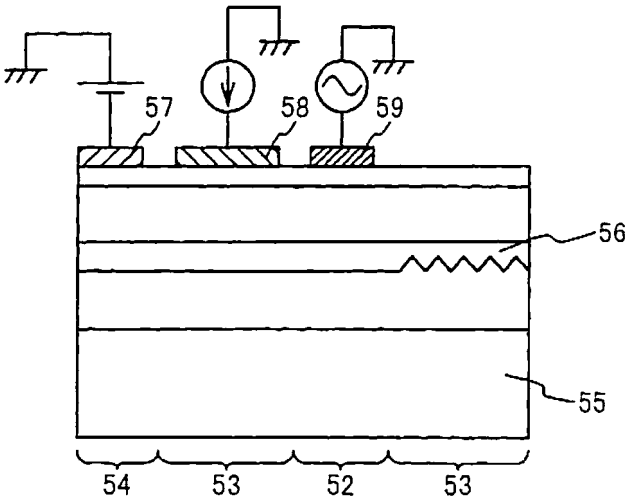


图 1

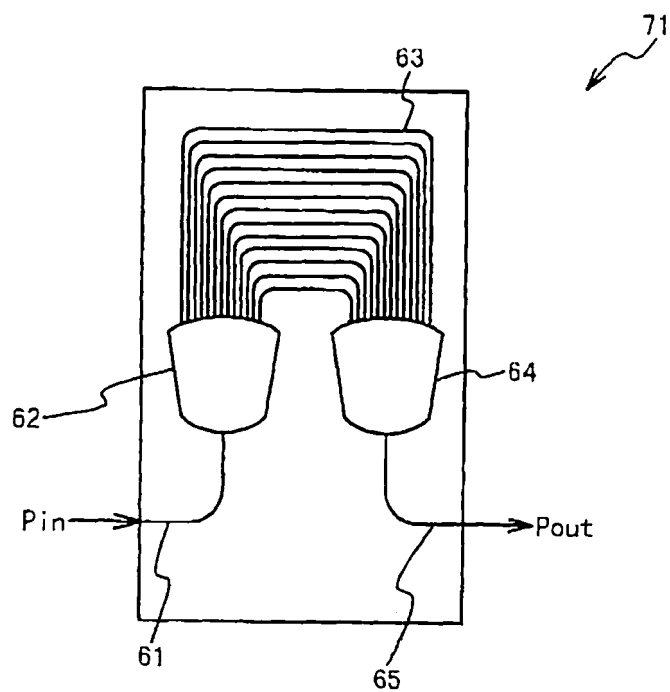


图 2

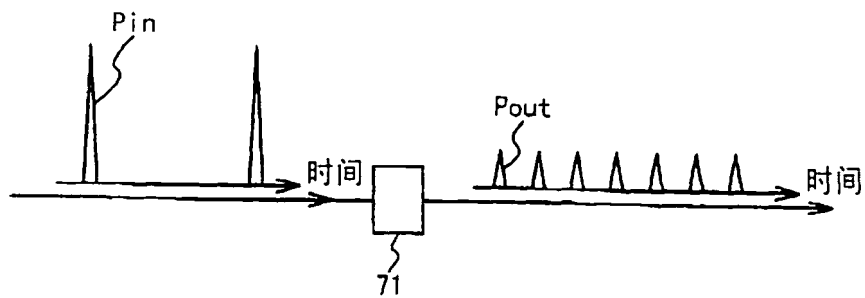


图 3

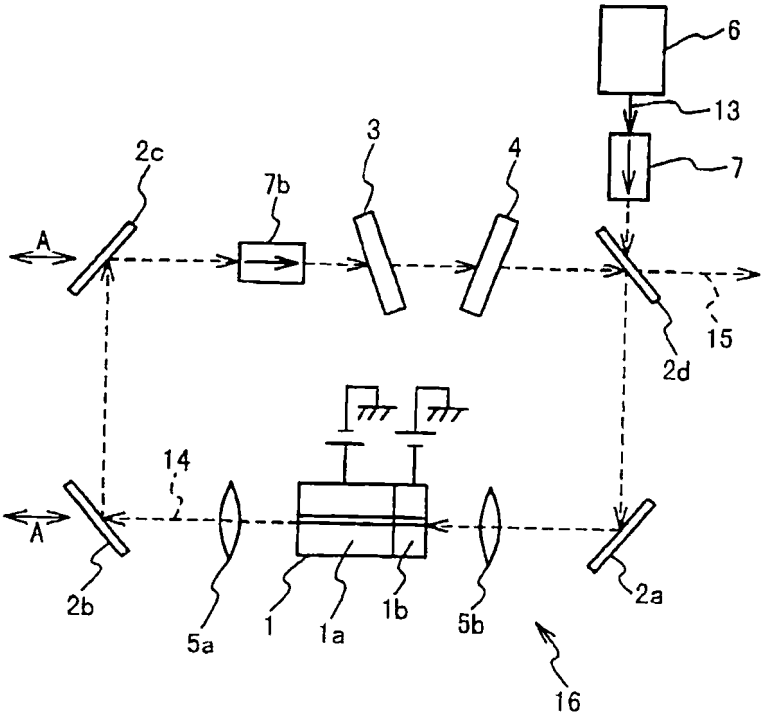


图 5

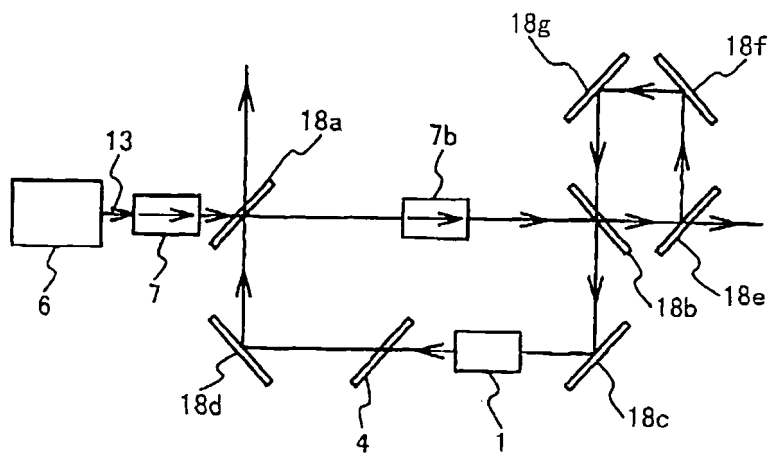


图 6A

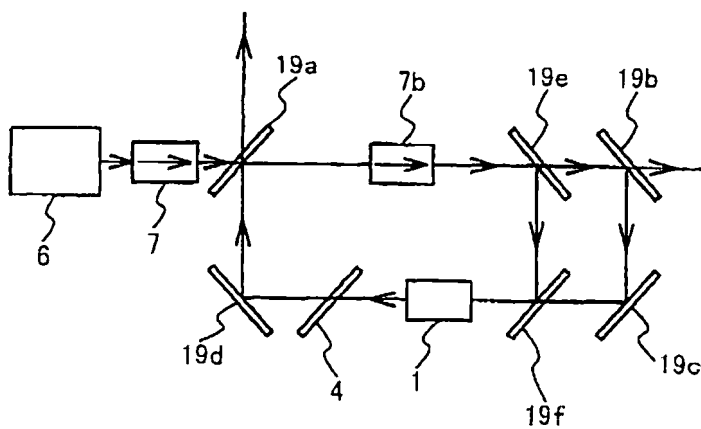


图 6B

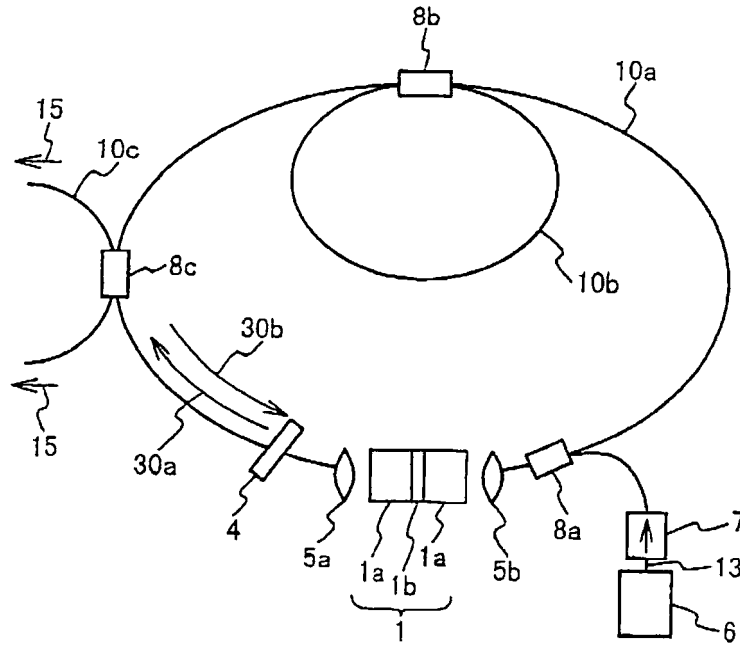


图 7A

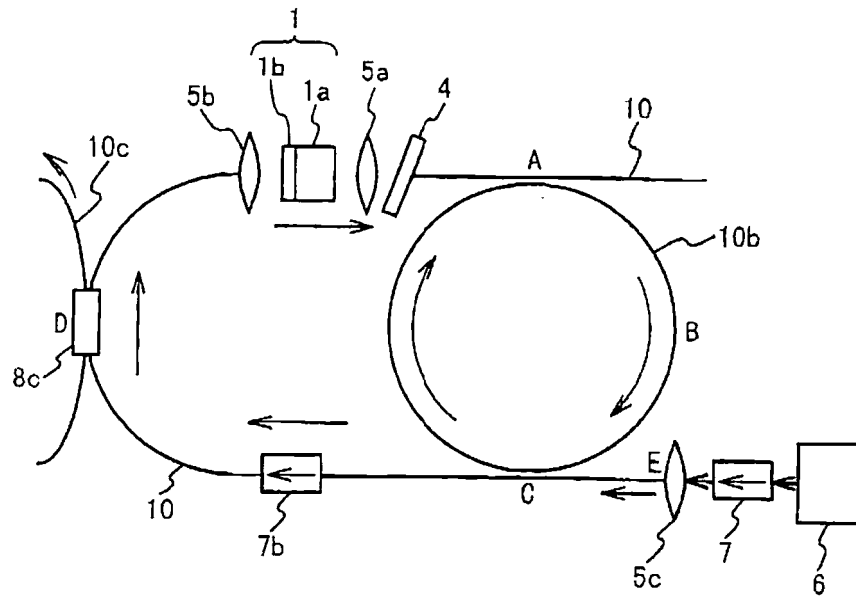


图 7B